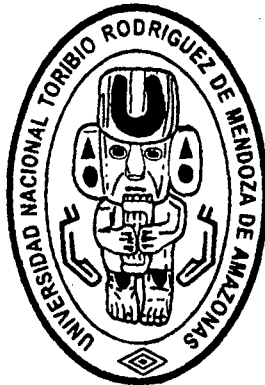


**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**RENDIMIENTO DE BIOGAS COMO COMBUSTIBLE EN UN GRUPO  
ELECTRÓGENO DE 1 KW. FUNDO SAN ISIDRO, COLCAMAR.**

**AUTORES:**

**Bach. EVANS TEJEDO SOBERÓN**

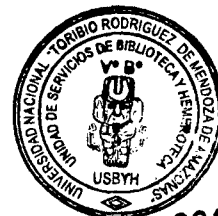
**Bach. EDWIN JESÚS YOPÁN CHOCACA**

**ASESOR:**

**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

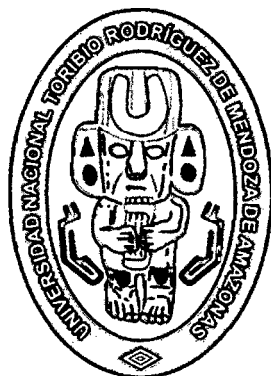
**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2014**



**04 FEB 2015.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**RENDIMIENTO DE BIOGAS COMO COMBUSTIBLE EN UN GRUPO  
ELECTRÓGENO DE 1 kW. FUNDO SAN ISIDRO, COLCAMAR**

**AUTORES:**

**Bach. EVANS TEJEDO SOBERÓN**

**Bach. EDWIN JESÚS YOPÁN CHOCACA**

**ASESOR:**

**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2014**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme fuerzas para seguir adelante y ser mi guía en el camino al éxito.

A mi esposa e hija, quienes fueron, son y serán la razón para seguir adelante y cumplir todas las metas que me he trazado.

A mis padres, por su apoyo incondicional en todo momento. Dándome sabios consejos, coraje y recordándome día a día que con esfuerzo y dedicación todo obstáculo se puede vencer.

A mis hermanas, por apoyarme en mi superación.

**Evans Tejedo Soberón**

A Dios, por su luz que ilumina mi camino.

A mis padres, por su apoyo en todo momento, por sus oportunos consejos y muestras de su coraje para enfrentar retos y aprovechar las oportunidades.

A mis hermanos por apoyarme en mi superación.

**Edwin Jesús Yopán Chocaca**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por protegernos e iluminarnos durante todo nuestro camino y darnos fuerzas para superar obstáculos y dificultades en nuestras vidas.

A nuestro Asesor de Tesis, Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por todo su apoyo y orientaciones oportunas para la realización de la presente tesis.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Por las facilidades brindadas en su Estación Experimental de Pomacochas.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL**

**TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph. D. Dr. Hab. JORGE LUIS MAÍCELO QUINTANA**

**Rector (e)**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES**

**Vicerrector Académico (e)**

**Dra. MARIA NELLY LUJÁN ESPINOZA**

**Vicerrectora de Investigación (e)**

**Ing. GUILLERMO IDROGO VÁSQUEZ**

**Decano (e) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias**

## **VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS**

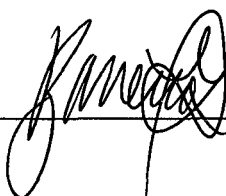
El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “**RENDIMIENTO DE BIOGAS COMO COMBUSTIBLE EN UN GRUPO ELECTRÓGENO DE 1 Kw. FUNDO SAN ISIDRO, COLCAMAR**” de los tesisistas egresados de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-A:

**Bach. EVANS TEJEDO SOBERÓN**

**Bach. EDWIN JESÚS YOPÁN CHOCACA**

El docente de la UNTRM-A que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones y apoyarlos en la sustentación.

Chachapoyas, 17 de diciembre de 2014.



---

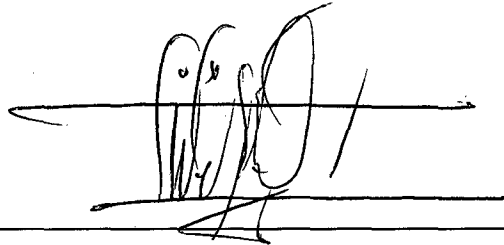
**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**  
**PROFESOR PRINCIPAL DE FICA-UNTRM-AMAZONAS**

**JURADO EVALUADOR**



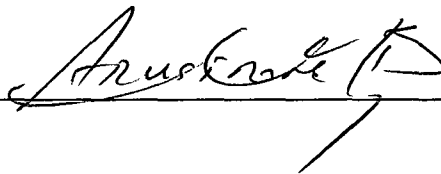
---

**Ing. GUILLERMO IDROGO VASQUEZ**  
**Presidente**



---

**Ing. . MEREGILDO SILVA RAMÍREZ**  
**Secretario**



---

**Ing. ARMSTRONG BARNARD FERNANDEZ JERI**  
**Vocal**



UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 18 de Diciembre del año 2014, siendo las 2:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Ing. Guillermo Leropo Vasquez

Secretario: Ing. Mercedes Silva Ramírez

Vocal: Ing. Armando Ferrán Jir. Jiri

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) Edwin Jesús Topán Chocaca

titulado Rendimiento de Biogás como combustible para Grupo Electrógeno de 11kw Fondo San Isidro, Colcamar.

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN (  ), DESAPROBACIÓN (  ) por mayoría (  ), por unanimidad (  ); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 3:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

Form6- T





**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 18 de Diciembre del año 2014, siendo las 2:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Ing. Guillermo Inza Vasquez

Secretario: Ing. Mercedes S. W. Renguez

Vocal: Ing. Arístides Ferrnandez Jara

para evaluar la sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) Eras Tejado Soberón

titulado Requerimiento de Biogás como Combustible para grupo electrógeno de 1 Kw. Finca San Isidro, Colcames

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACIÓN (X), DESAPROBACIÓN ( ) por mayoría ( ), por unanimidad (X); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 3:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.

[Signature]  
SECRETARIO

[Signature]  
PRESIDENTE

[Signature]  
VOCAL

## ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Autoridades universitarias	iii
Visto Bueno del Asesor	iv
Jurado Evaluador	v
Índice	vi
Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Fotografías	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
I. INTRODUCCION	1
II. MATERIAL Y METODOS	12
2.1. Estiércol de ganado vacuno	12
2.2. Sistema de producción de biogas	12
2.3. Grupo electrógeno adaptado a biogas	15
2.4. Picadora de pasto adaptada a biogas	16
2.5. Potencia generada por el grupo electrógeno con gasolina	17
2.6. Potencia generada por el grupo electrógeno con biogas	18
2.7. Determinación del rendimiento del motor	18

III. RESULTADOS	19
3.1. Biogas disponible	19
3.2. Potencia generada por el grupo electrógeno con gasolina	19
3.3. Potencia generada por el grupo electrógeno con biogas	20
3.4. Picadora de pasto a biogas	23
3.5. Determinación del rendimiento del motor con gasolina	25
3.6. Determinación del rendimiento del motor con biogas	26
IV. DISCUSION	27
V. CONCLUSIONES	31
VI. RECOMENDACIONES	32
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	33
ANEXOS	
ANEXO 1: Operación del biodigestor para producir biogas y bioabonos	35
ANEXO 2: Conducción del biogas para los motores	38
ANEXO 3: Difusión de la tecnología de motores adaptados a biogas para la comunidad	40

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición del biogas.	5

## ÍNDICES DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Nomenclatura de una máquina reciprocante.	1
Figura 2. Diagrama Presión-Volumen (P-V) del ciclo de Otto real y teórico.	2
Figura 3. Ciclo de cuatro tiempos del motor de combustión interna a gasolina.	3
Figura 4. Biogas: combustible ecológico.	4
Figura 5. Esquema del sistema de producción de biogas de la EE Pomacochas.	12

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Pieza para adaptar el motor Honda GX 140 MAX de gasolina de cuatro tiempos al uso de biogas, conectada en el lugar del filtro de aire (1: tubo de entrada de biogas, 2: válvula de admisión de aire, 3: tubo de entrada de aire, 4: válvula de admisión de biogas, 5: entrada al motor de la mezcla aire-biogas).	6
Fotografía 2. Motor Honda GX-240 adaptado para funcionar con biogas. 1: tanque de combustible, 2: carburador, 3: filtro de aire, 4: entrada de aire y biogas, 5: llave para regular la entrada de biogas al carburador.	7
Fotografía 3. Biodigestor tipo laguna cubierta de la Estación El Porvenir del INIA de Tarapoto (Región San Martín).	8
Fotografía 4. Grupo electrógeno de 5 kW y sistema de eliminación de H <sub>2</sub> S del biogas, en la Estación El Porvenir del INIA de Tarapoto (Región San Martín).	8
Fotografía 5. Volkswagen New Beetle Cabriolet funcionando con biogas.	9
Fotografía 6. Sistemas de carga y descarga del biodigestor.	14
Fotografía 7. Sistema de producción de biogas de la EE Pomacochas.	15

Fotografía 8. Grupo electrógeno adaptado para funcionar a biogas.	16
Fotografía 9. Picadora de pasto adaptada para funcionar a biogas.	17
Fotografía 10. Tablero con 10 focos encendidos de 100 W cada uno.	19
Fotografía 11. Grupo electrógeno a biogas con una carga de 1000 W.	20
Fotografía 12. Grupo electrógeno de 1 kW, generando 300 W a biogas.	21
Fotografía 13. Grupo electrógeno de 1 kW generando 244 W a biogas.	22
Fotografía 14. Primera prueba de funcionamiento del motor de 9 hp a biogas.	24
Fotografía 15. Ambos lados de la picadora de pasto con motor de 9 hp a biogas.	24
Fotografía 16. Picadora de pasto a biogas en operación en la EE Pomacochas.	25
Fotografía 17. Pozas de carga y descarga del biodigestor de la EE Pomacochas.	35
Fotografía 18. Instalación del biodigestor y preparación de la alimentación.	35
Fotografía 19. Carga del biodigestor con mezcla estiércol:agua (1:5).	36
Fotografía 20. Biodigestor a 8 cm de agua de presión.	36

Fotografía 21. Cocina a biogas para preparar los alimentos.	37
Fotografía 22. Extracción de biol y biosol para fertilizar los pastos.	37
Fotografía 23. Pesos sobre el biodigestor para mantener constante la presión.	38
Fotografía 24. Tubería de biogas para la cocina y el balón adicional.	38
Fotografía 25. Balón adicional de polietileno para abastecer con biogas al motor.	39
Fotografía 26. Manguera para conducción de biogas a los motores.	39
Fotografía 27. Demostración del funcionamiento de la picadora de pasto a biogas a ganaderos de Ayabaca que visitaron la EE Pomacochas.	40
Fotografía 28. Demostración del funcionamiento del grupo electrógeno a biogas a estudiantes del colegio de Pomacochas.	40



## RESUMEN

En la presente investigación se determinó el rendimiento de biogas como combustible en un grupo electrógeno de 1 kW, con motor de combustión interna de 2,4 hp. Se produjo biogas a partir de estiércol de vacuno en biodigestor tubular anaeróbico de 12 m<sup>3</sup>, de geomembrana de PVC, cargado con 9 m<sup>3</sup> de mezcla estiércol:agua (1:5) y 3 m<sup>3</sup> para almacenamiento de biogas; adicionalmente se empleó un balón de 2 m<sup>3</sup> del mismo material. Para mantener la producción de biogas se alimentó diariamente el biodigestor con 200 L de mezcla estiércol:agua (1:5). La presión de operación del sistema fue de 4 cm de agua. Para adaptar el motor a biogas se construyó un dispositivo en forma de T, con accesorios de PVC de ½” y una llave de compuerta de bronce de ½” para regular el paso del biogas. Para el ingreso de la mezcla biogas-aire al carburador se empleó accesorios de PVC de 1 ½”. El grupo electrógeno a biogas produjo 244 W (24,4 % de la generada por el mismo motor a gasolina) para el encendido de un foco de filamento de 100 W y 8 focos ahorradores de 18 W cada uno. Adicionalmente, se adaptó el motor de 9 hp de una picadora de pasto para que funcione a biogas, el que operó sin problemas. Para ambos motores, el arranque se hizo con gasolina y luego se pasó a operación con biogas. El rendimiento del motor de 2,4 hp a biogas fue de 16,38 m<sup>3</sup>/(kWh), el que se puede mejorar incrementando la presión de abastecimiento de biogas.

**Palabras clave:** adaptación de motor a biogas, rendimiento de motor a biogas.

## ABSTRACT

In the present investigation biogas yield was determined as fuel for 1 kW generator with internal combustion engine 2,4 hp. Biogas is produced from cow manure in anaerobic digester tubular 12 m<sup>3</sup>, PVC geomembrane, loaded with 9 m<sup>3</sup> of manure mixture: water (1: 5) and 3 m<sup>3</sup> biogas storage; 2 m<sup>3</sup> ball of the same material was used further. To maintain the production of biogas digester was fed daily with 200 L of manure: water mixture (1: 5). The system operating pressure was 4 cm water. To adapt the engine to a device constructed biogas T-shaped, with PVC fittings ½ "wrench and bronze gate ½" to control the flow of biogas. To enter the biogas-air mixture to the carburetor fittings PVC 1½ "was used. The produced biogas generator set to 244 W (24,4% of that generated by the same motor gasoline) to turn on a light bulb filament 100 W and 8-saving bulbs of 18 W each one. Additionally, 9 hp engine a grass chopper to operate at biogas, which operated smoothly adapted. For both engines, the start is made with gasoline and then passed biogas operation. Engine performance 2,4 hp to biogas was 16,38 m<sup>3</sup>/(kWh), which can be improved by increasing supply pressure biogas.

**Keywords:** motor adaptation biogas, biogas engine performance.

## I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Pomacochas, distrito de la Florida, provincia de Bongará, Región Amazonas; del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. No se pudo realizar en el Fundo San Isidro, Colcamar; debido a que su biodigestor presentó una serie de problemas constructivos ajenos a nuestra responsabilidad.

Los componentes básicos de una máquina reciprocante se muestran en la Figura 1. El émbolo reciprocante en el cilindro se alterna entre dos posiciones fijas llamadas punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI). Una mezcla de aire y combustible se introduce al cilindro por la válvula de admisión, y los productos de combustión se expelen del cilindro por la válvula de escape (Çengel y Boles, 2003).

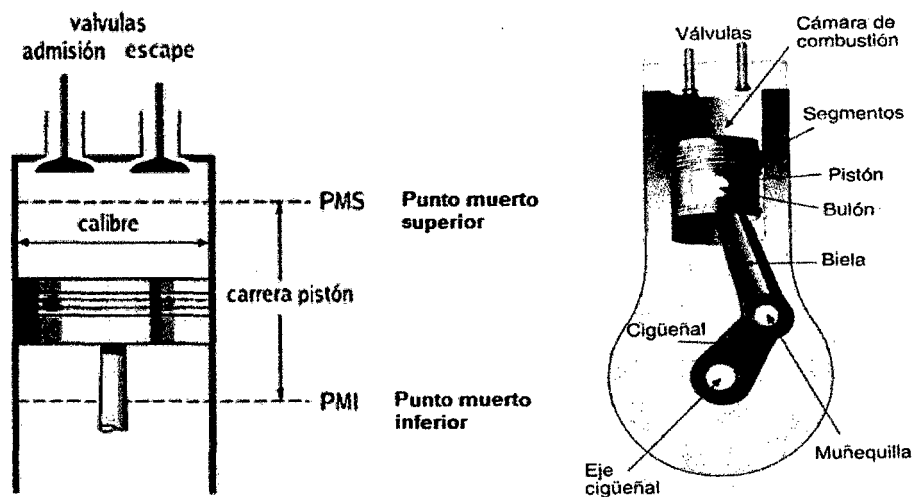


Figura 1. Nomenclatura de una máquina reciprocante.

Las máquinas reciprocantes se clasifican como máquinas de encendido (ignición) por chispa (ECH) o máquinas de encendido por compresión (ECOM), según como se inicie el

proceso de combustión en el cilindro. En las máquinas ECH la combustión de la mezcla de aire y combustible se inicia con una chispa en la bujía, mientras que en las ECOM la mezcla de aire y combustible se autoenciende como resultado de comprimirla arriba de su temperatura de autoencendido (Çengel y Boles, 2003).

El ciclo de Otto es el ciclo ideal para las máquinas recíprocantes de encendido por chispa. Recibe ese nombre en honor a Nikolaus Otto, quien construyó en 1876, en Alemania, una exitosa máquina de cuatro tiempos utilizando el ciclo propuesto por Frenchman Beau de Rochas en 1862. En la mayoría de las máquinas de encendido por chispa, el pistón ejecuta 4 tiempos completos (dos ciclos mecánicos) dentro del cilindro, y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico, por lo que se llaman máquinas de combustión interna de cuatro tiempos (Çengel y Boles, 2003).

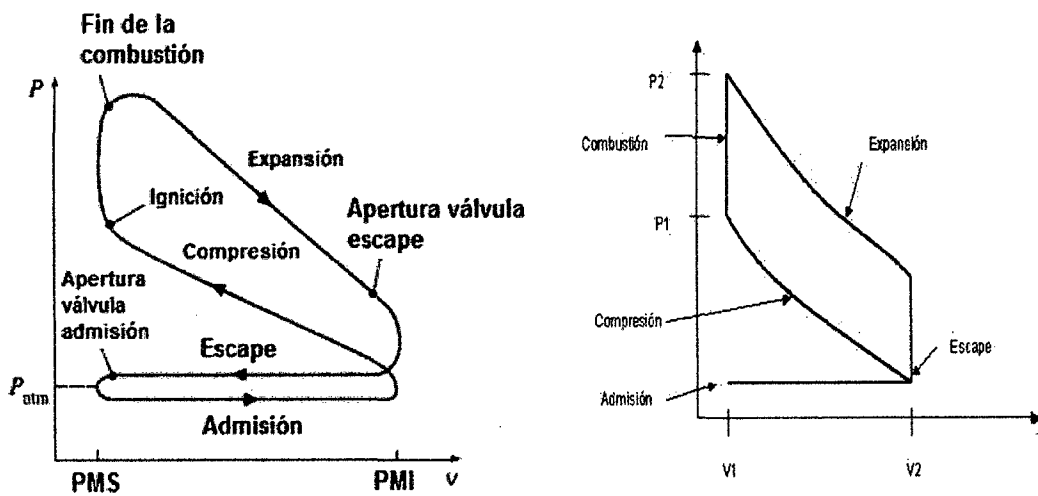


Figura 2. Diagrama Presión-Volumen (P-V) del ciclo de Otto real y teórico.

Al inicio, la válvula de admisión y la de escape están cerradas, el pistón está en su posición más alta (PMS), desde donde desciende hasta el PMI provocando el ingreso al cilindro de

una mezcla fresca de aire-combustible, a través de la válvula de admisión (carrera de admisión, la presión es menor que la atmosférica) (Figura 3), ocurre un incremento de volumen a presión constante (Figura 2). Durante la carrera de compresión, el pistón se mueve hacia arriba, y comprime la mezcla aire-combustible. Un poco antes que el pistón alcance el PMS, la bujía produce una chispa y la mezcla combustiona instantáneamente (Figura 3), lo cual aumenta la presión (de P1 a P2, Figura 2) y la temperatura del sistema. Los gases de alta presión impulsan al pistón hacia abajo obligando a rotar al cigüeñal, con lo que completa una vuelta, produciendo una salida de trabajo útil durante la carrera de expansión o carrera de potencia. Al final de esta carrera, el pistón se encuentra nuevamente en el PMI (termina el primer ciclo mecánico) y el cilindro se llena con productos de combustión. Después el pistón se mueve hacia arriba y evacúa los gases de escape por la válvula de escape (carrera de escape, presión mayor a la atmosférica), completándose un ciclo termodinámico y el cigüeñal dio su segunda vuelta. (Çengel y Boles, 2003).

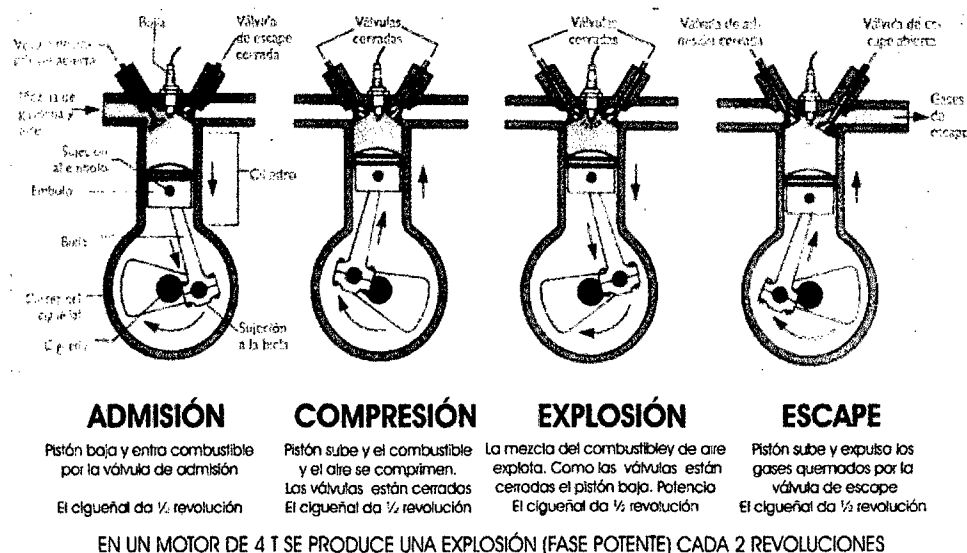


Figura 3. Ciclo de cuatro tiempos del motor de combustión interna a gasolina.

El biogas es un combustible ecológico puesto que permite reciclar el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) producido en su combustión, es decir, realizar la captura de carbono. Las plantas absorben agua y nutrientes del suelo, mediante sus raíces; con sus hojas captan el  $\text{CO}_2$  del aire y la energía solar a través de la clorofila para realizar la fotosíntesis, que permite a la planta producir monosacáridos y luego polisacáridos para su crecimiento. Las plantas sirven de alimento a los animales, los que al final de su digestión excretan estiércol, que puede ser colectado para procesarlo en un recipiente cerrado (biodigestor) en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) para producir biogas y bioabonos. El biogas se emplea como combustible en la cocina, en lámparas tipo petromax, en calefacción, en motores de combustión interna en reemplazo de la gasolina y parcialmente del petróleo diésel; produciendo  $\text{CO}_2$  y vapor de agua que se descargan a la atmósfera, de donde el  $\text{CO}_2$  será reciclado por las plantas. Los bioabonos servirán para retornar nutrientes al suelo de manera que la producción de los cultivos sea mayor (Figura 4) (Barrena *et al.*, 2013).

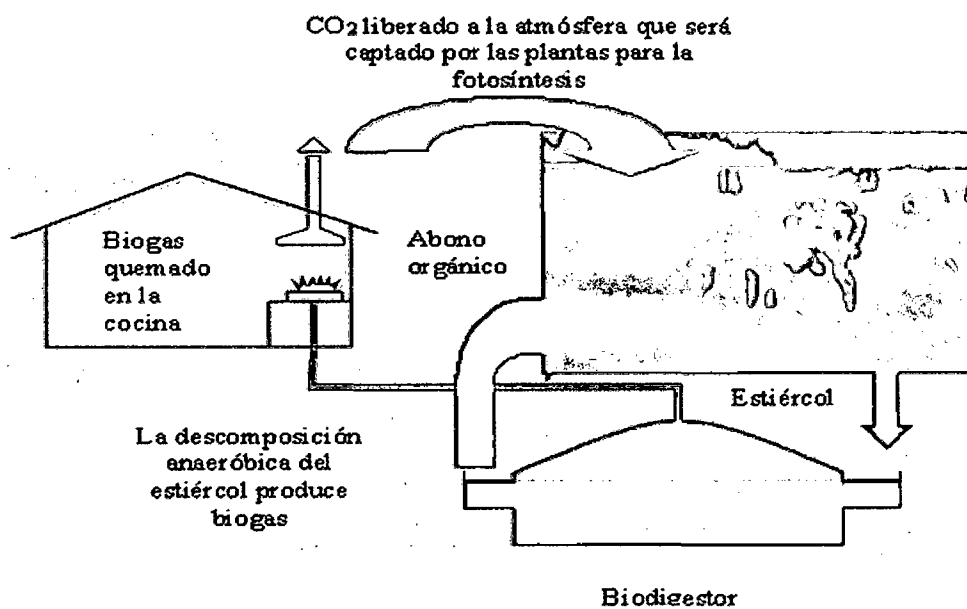


Figura 4. Biogas: combustible ecológico.

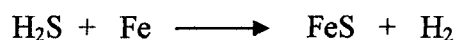
El biogas es una mezcla de gases, sus principales componentes son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque la composición del biogas varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta en la Tabla 1 (Werner *et al.*, 1989).

Tabla 1. Composición del biogas.

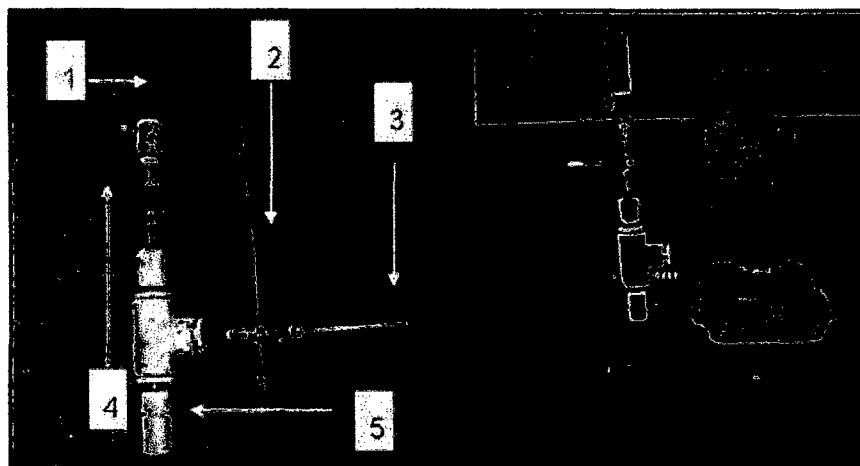
Componente	Concentración (% en volumen)
Metano, CH <sub>4</sub>	40 – 70
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	30 - 60
Sulfuro de hidrógeno, H <sub>2</sub> S	0 - 3
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	0 - 1

El metano, principal componente del biogas, es el que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogas por lo tanto estará determinado por la concentración de metano - alrededor de 20 – 25 MJ/m<sup>3</sup>, comparado con 33 – 38 MJ/m<sup>3</sup> para el gas natural (Werner *et al.*, 1989).

En el biogas hay trazas de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) que le da el olor desagradable a desagüe, por lo que debe eliminarse de la corriente de biogas antes de emplearlo como combustible, para ello es suficiente hacer pasar el flujo de biogas a través de un cartucho relleno con viruta de hierro. El sulfuro ferroso queda en el cartucho y el hidrógeno producido se incorpora al flujo de biogas. La reacción química que se produce es la siguiente (Barrena *et al.*, 2013):



En la Universidad EARTH de Costa Rica, para la adaptación de un motor gasolinero se elaboró una pieza para introducir la mezcla de biogas-aire al cilindro del motor, utilizando materiales de PVC en su mayoría, por ser de fácil obtención y bajo costo. La parte principal de la pieza es la T de PVC, que sirve de mezclador de biogas-aire (Fotografía 1). Se utilizó un motor de gasolina de cuatro tiempos marca Honda de 5 hp (3,7 kW), modelo GX 140 MAX, de 144 cm<sup>3</sup>. Se logró sustituir el 100 % de la gasolina por biogas; por cada hora de uso del motor con biogas se ahorra 2213,59 mL de gasolina. El consumo de biogas fue de 0,55 m<sup>3</sup>/kWh, lo que significa, que con este tipo de motor, 1 m<sup>3</sup> de biogas equivale a 4,025 litros de gasolina (Carmona *et al.*, 2007). No se indica la presión del biogas.

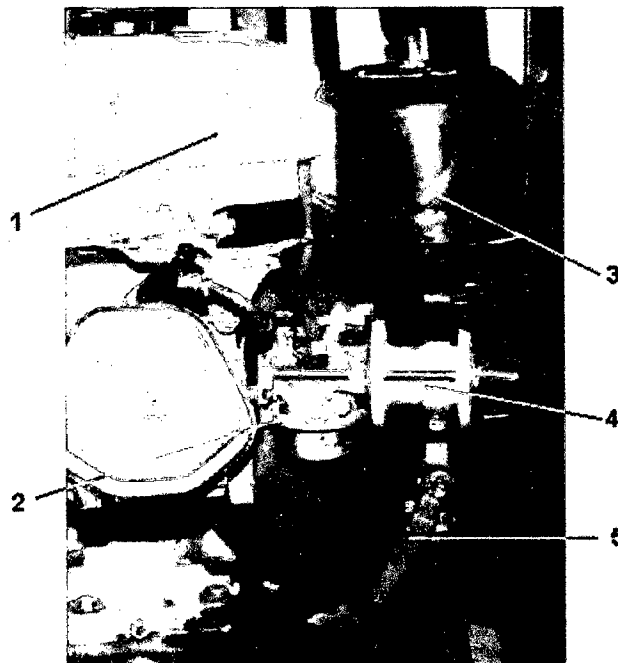


Fotografía 1. Pieza para adaptar el motor Honda GX 140 MAX de gasolina de cuatro tiempos al uso de biogas, conectada en el lugar del filtro de aire (1: tubo de entrada de biogas, 2: válvula de admisión de aire, 3: tubo de entrada de aire, 4: válvula de admisión de biogas, 5: entrada al motor de la mezcla aire-biogas).

En el Instituto de Motores de Combustión Interna (IMCI) de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú; se implementó un sistema para el fácil arranque del motor y una

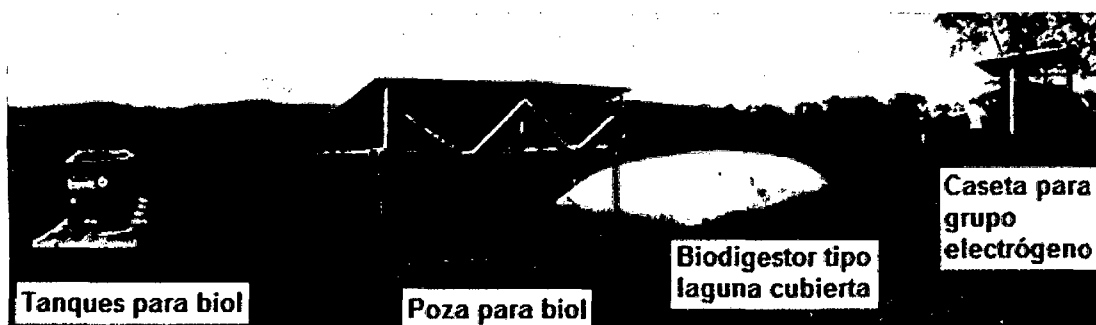


alimentación confiable y segura de biogas, haciendo funcionar de manera adecuada el motor estacionario gasoliner Honda GX-240 (relación de compresión: 8/1; cilindrada: 242 cm<sup>3</sup>; diámetro x carrera: 73x58 mm; potencia máxima: 5,97 kW (8 hp) a 3600 rpm). La implementación del sistema de alimentación de biogas no requiere de ninguna modificación en el sistema de alimentación de gasolina ni en el regulador de velocidad del motor utilizado. La potencia máxima desarrollada por el motor con biogas fue de 4,25 kW (5,7 hp), la cual es el 71,2% de la potencia nominal del motor (5,97 kW) trabajando con gasolina. Las pruebas con biogas dieron un consumo de 0,65–0,70 m<sup>3</sup>/(kW.h) a plena carga (IMCI, 2012).



Fotografía 2. Motor Honda GX-240 adaptado para funcionar con biogas. 1: tanque de combustible, 2: carburador, 3: filtro de aire, 4: entrada de aire y biogas, 5: llave para regular la entrada de biogas al carburador.

A partir del 27 de marzo del 2012, en la Estación El Porvenir del INIA de Tarapoto (Región San Martín), se encuentra en operación el motor a biogas de un grupo electrógeno de 5 kW de potencia trifásico, que es de tecnología adaptada y eficiente hecha en el Perú.



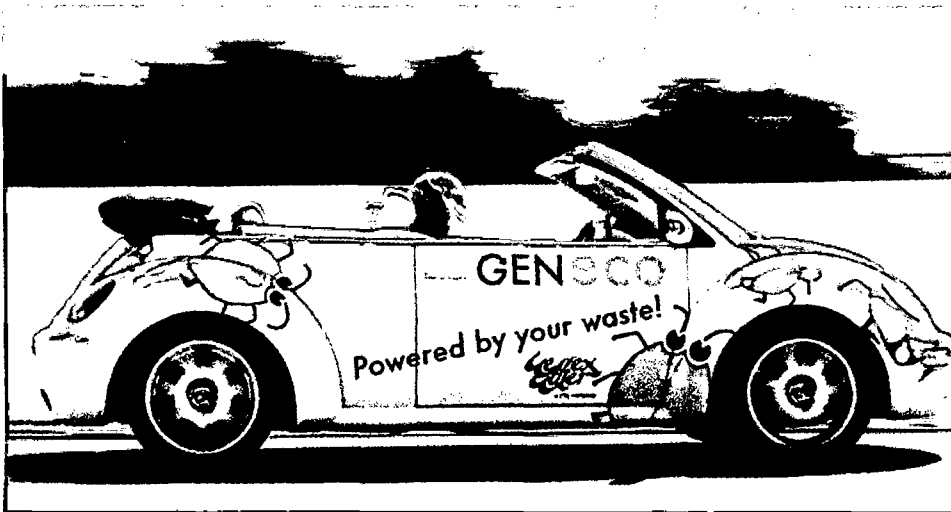
Fotografía 3. Biodigestor tipo laguna cubierta de la Estación El Porvenir del INIA de Tarapoto (Región San Martín).



Fotografía 4. Grupo electrógeno de 5 kW y sistema de eliminación de H<sub>2</sub>S del biogas, en la Estación El Porvenir del INIA de Tarapoto (Región San Martín).

La empresa británica GenEco, en colaboración con BRC Gas Equipment, adaptó con éxito un Volkswagen New Beetle Cabriolet para funcionar con biogas. El motor 2,0 16v de 130

CV, rinde igual con gas que con gasolina. El biogas que emplea se produce por fermentación de heces humanas. Con las deposiciones de 70 hogares se puede producir gas suficiente para unos 16000 kilómetros con este automóvil, que rinde 8,5 km/m<sup>3</sup> de biogas. La adaptación del motor es casi similar a la que se usa para que funcione con gas natural comprimido (GNC), solo que el biogas es de origen 100% renovable, y no fósil. La planta de Bristol de GenEco produce 18 millones de m<sup>3</sup> de biogas/año, lo que equivale a 2117 km por automóvil, de una flota hipotética de 1000 automóviles de este tipo (Costas, 2012).

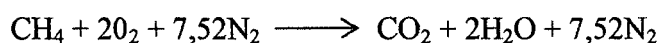


Fotografía 5. Volkswagen New Beetle Cabriolet funcionando con biogas.

El Volkswagen adaptado a biogas, emplea gasolina para arrancar en frío, hasta que el agua tiene temperatura suficiente y se pasa automáticamente a biogas, el conductor difícilmente notará la diferencia; cuando el biogas se termina, vuelve a funcionar con gasolina. Las emisiones del automóvil son muy reducidas, y mucho menos tóxicas que con petróleo. El biogas reduce las emisiones de efecto invernadero: menos metano liberado, y menos dióxido de carbono neto en las combustiones en el motor. El biogas permitirá mayor

duración de los motores de combustión interna, y será combustible de más automóviles convencionales ante la escasez o alza de precio del petróleo (Costas, 2012).

La estequiometría de la combustión del metano se muestra en la siguiente reacción:



De esta forma, la relación peso de aire/combustible será:  $(2\text{O}_2 + 7,52\text{N}_2)/(\text{CH}_4) = (64 + 210,5)/16,04 = 17,1$  kg de aire por cada kg de metano quemado. La relación de compresión del metano o gas natural es 8/1, similar a la de otros combustibles gaseosos y gasolinas y además el óptimo índice de octanos (similar al de gasolina etílica), su relación aire/combustible en peso (la relación de compresión para la gasolina es de 7,5/1), la posibilidad de compresión por encima de la establecida para motores de combustión del ciclo Otto (130 psi) permite predecir un buen comportamiento del biogas y el metano como combustible en motores de combustión que trabajan con gas y gasolina, aunque es factible, por la alta compresibilidad, poder utilizarse en motores Diesel.

Un motor de combustión interna de 20 kW alimentado con biogas generó 18 kW de energía eléctrica. Su operación se mantuvo por períodos de 1 hora con variaciones de presión en el biogas en el biodigestor entre 45 a 155 cm de agua, consumiendo en promedio 4,7 m<sup>3</sup> de biogas a un ritmo de 78,3 litros por minuto y un consumo específico de 0,261 m<sup>3</sup>/kWh. El biogas tiene un poder calorífico promedio de 700 BTU/pie<sup>3</sup> (6186 kcal/ m<sup>3</sup>), si para la generación de un kWh, son necesarias 860 kcal, el sistema mecánico funcionó con una eficiencia del 53%. Un motor de combustión interna de ciclo Otto de 18 hp a 3600 rpm, tuvo una eficiencia térmica de 40,3%, utilizando biogas de concentración en % (volumen/volumen): CH<sub>4</sub>: 76,05%, H<sub>2</sub>S: 0,10%, CO<sub>2</sub>: 9,01 %, H<sub>2</sub>O: 5,80% como vapor, N<sub>2</sub>:

8,01%. Luego de un proceso de purificación, el biogas tuvo la siguiente concentración en %(v/v): CH<sub>4</sub>: 87,87%, H<sub>2</sub>S: 0,05%, CO<sub>2</sub>: 3,50%, H<sub>2</sub>O: 0,85% y N<sub>2</sub>: 7,01%, con un incremento de la eficiencia térmica del orden del 20%. En Italia, motores de ciclo Otto a biogas tuvieron un consumo específico de biogas de 0,6 a 0,8 m<sup>3</sup>/kWh. La variación se debe a los cambios permanentes de presión de suministro de biogas (Hernández, 1996).

El petróleo y la gasolina son combustibles ampliamente utilizados a nivel mundial para la generación de energía eléctrica; pero como provienen de un recurso no renovable, es necesario que se desarrollen, evalúen y utilicen fuentes alternas de producción de energía eléctrica. Por tal motivo, en la presente investigación se desarrolló e implementó una opción energética apta para zonas rurales para generar la energía eléctrica necesaria a base de biogas, producido en un biodigestor en el sitio de uso. El biogas tiene potencial para considerarse un sustituto de la gasolina, lo que se puso en práctica en la presente tesis, donde se adaptó un motor a gasolina para que funcione adecuadamente empleando biogas como único combustible, lo cual fue factible debido a que el motor gasolinero tiene bujía para generar la chispa que inicia la combustión en el cilindro, requisito necesario también para lograr la combustión del biogas que ingrese al cilindro del motor.

La aplicación de esta tecnología en zonas rurales es factible puesto que se requiere un mínimo de cuatro vacas para tener el estiércol necesario para alimentar el biodigestor cada día y mantener la producción de biogas constante. Permitirá a los usuarios tener energía eléctrica para iluminación y para el funcionamiento de un televisor o una radio, por lo que la adaptación del motor a gasolina del grupo electrógeno para que pueda funcionar a biogas, contribuirá a mejorar la calidad de vida del poblador rural.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Estiércol de ganado vacuno

Se empleó estiércol fresco del ganado vacuno de la Estación Experimental Pomacochas del Instituto de Investigación para el desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), ubicada en la localidad de Pomacochas, provincia de Bongará, Región Amazonas.

### 2.2. Sistema de producción de biogas

La EE Pomacochas tiene instalado y en operación normal un sistema de producción de biogas, cuyo esquema de instalación se muestra en la Figura 5, instalado en un ambiente cerrado y techado para protegerlo del clima frío de Pomacochas (2200 msnm, temperatura ambiente promedio de 15°C).

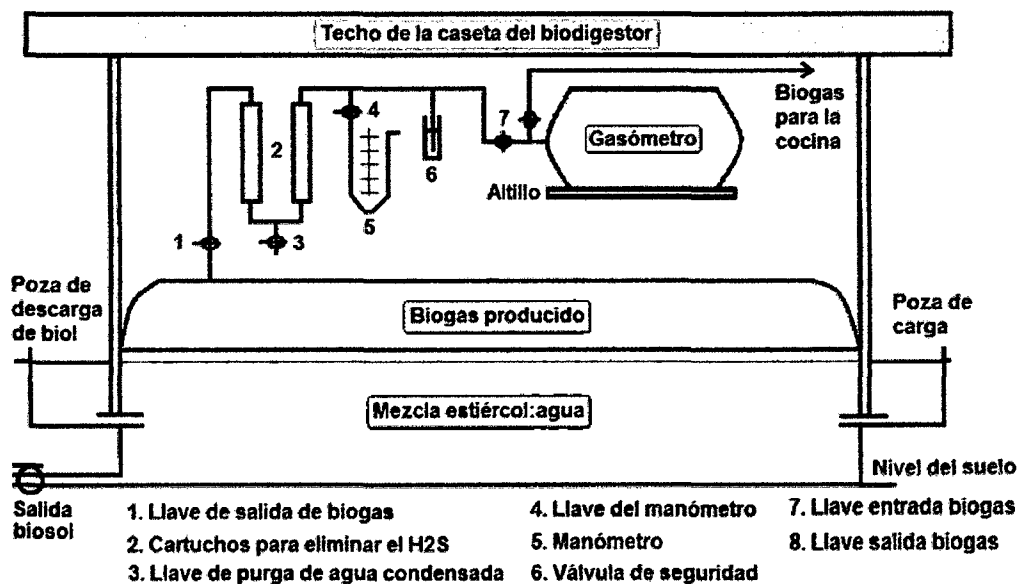


Figura 5. Esquema del sistema de producción de biogas de la EE Pomacochas.

El sistema de producción de biogas tiene los siguientes componentes:

- a) **Poza de carga.** Sirve para ingresar diariamente la alimentación al biodigestor. La mezcla estiércol:agua con que se alimenta el biodigestor se prepara en la proporción de 1 parte de estiércol y 5 partes de agua, en un cilindro de metal o de plástico de 200 litros donde se deposita 33,5 kg de estiércol y se lo llena con agua, se agita bien para homogenizarla y se retiran los sólidos que floten debido a pueden obstruir el tubo de entrada al biodigestor o causar problemas de funcionamiento del sistema.
- b) **Biodigestor.** Es de forma tubular, de geomembrana de PVC de 10 m de largo y 1,27 m de diámetro, lo que hace un volumen total de  $12 \text{ m}^3$ , de los cuales  $9 \text{ m}^3$  ( $2/3$  del volumen del biodigestor) son ocupados por la mezcla estiércol:agua y los  $3 \text{ m}^3$  restantes son ocupados por el biogas producido. Aquí ocurren los procesos bioquímicos que transforman la mezcla estiércol:agua en biogas y bioabonos.
- c) **Poza de descarga.** Su función es facilitar la descarga del efluente líquido (biol) o de los lodos digeridos (biosol) para su posterior utilización como abonos orgánicos.
- d) **Eliminación del sulfuro de hidrógeno.** De todos los componentes del biogas, el que causa mayor problema para su utilización es el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) por su olor desagradable y alto poder corrosivo que provocará un deterioro rápido de todas las instalaciones. Para eliminar el sulfuro de hidrógeno se hace pasar la corriente de biogas por dos cartuchos rellenos con clavos para madera de 2".
- e) **Control de presión.** La presión debe ser medida y controlada rigurosamente para mejorar la operación y la eficiencia de los equipos que utilicen biogas como combustible. Se emplea un manómetro de manguera de  $1/4$ " en U con agua, el biogas empujará el agua de la rama desplazándola por el tubo en U, la diferencia de altura

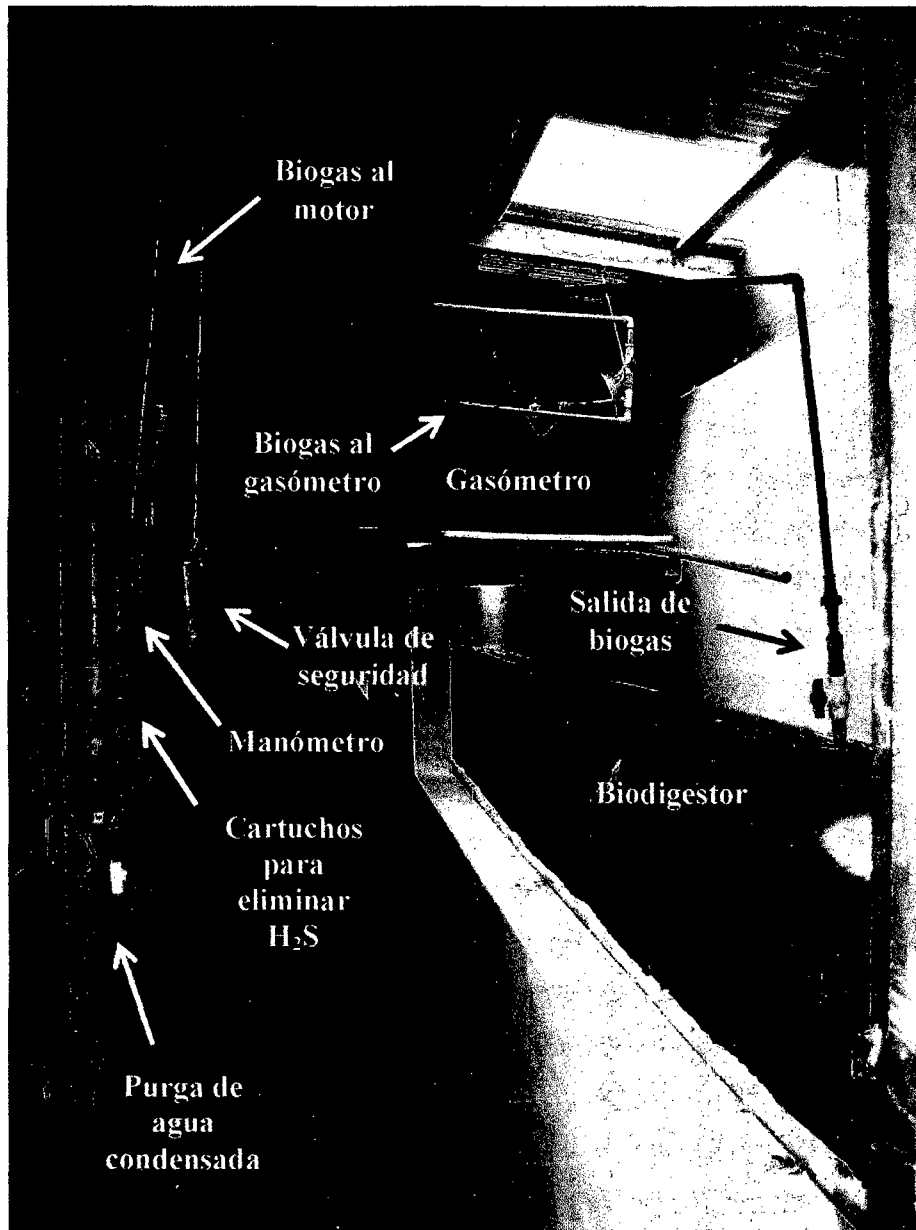
entre ambas ramas será la presión que ejerce el biogas en todo el sistema, expresada en cm de agua. Como válvula de seguridad para que la presión del sistema no supere los 10 cm de agua (10 cm de agua equivalen a 7,35 mm de Hg, valor bajo teniendo en cuenta que 1 atm es igual a 760 mm de Hg.), se utiliza una botella de 1,5 L, llena con agua hasta  $\frac{3}{4}$  de su volumen, en ella se introduce 10 cm de un ramal de la tubería que conduce el biogas, con ranuras cada 1 cm para fácil lectura.

- f) **Balón de almacenamiento de biogas o gasómetro.** Es un balón cilíndrico hecho de geomembrana de PVC de 2 m de largo y 1,2 m de diámetro, lo que hace un volumen de  $2 \text{ m}^3$  al que se trasvasa el biogas producido en el biodigestor. Este balón es un almacén adicional de biogas.



Fotografía 6. Sistemas de carga y descarga del biodigestor.





Fotografía 7. Sistema de producción de biogas de la EE Pomacochas.

### 2.3. Grupo electrógeno adaptado a biogas

Se empleó un grupo electrógeno marca MEBA, modelo UP154, de 87 cm<sup>3</sup> y 2,4 hp, a gasolina, con generador de 1000 W. Para la adaptación se diseñó y construyó un dispositivo en forma de T con accesorios de PVC de ½", que permitió mezclar el

biogas con el aire en una proporción adecuada para inyectarla a la cámara de combustión del motor (Fotografía 8). Este dispositivo tiene una llave de compuerta de bronce para regular finamente el paso de biogas. El dispositivo se instaló entre el filtro de aire y el carburador, para facilitar la función de aceleración y el motor trabaje adecuadamente.



Fotografía 8. Grupo electrógeno adaptado para funcionar a biogas.

#### **2.4. Picadora de pasto adaptada a biogas**

El motor de esta picadora es de marca Jiang Dong de 9,0 hp, que funciona a gasolina. Para adaptarlo a biogas se retiró el filtro de aire y en su lugar se insertó el dispositivo diseñado y construido en forma de T con accesorios de PVC de ½", que permite la mezcla de biogas y aire (Fotografía 9). El dispositivo tiene una llave de compuerta de bronce para regular finamente el paso de biogas.



Fotografía 9. Picadora de pasto adaptada para funcionar a biogas.

### **2.5. Potencia generada por el grupo electrógeno con gasolina**

Se empleó el cilindro de una jeringa hipodérmica de 60 mL con 50 mL de gasolina, conectado al carburador (Fotografía 8) para medir el tiempo de funcionamiento del

motor con ese volumen de gasolina, con una carga de 1000 W (10 focos de 100 W cada uno).

## **2.6. Potencia generada por el grupo electrógeno con biogas**

Las pruebas se realizaron regulando la entrada de biogas con el dispositivo de mezcla adaptado, hasta encontrar la proporción adecuada que mantenga al motor en un funcionamiento estable. Una vez que el motor funcionó correctamente se empezó a hacer pruebas con una carga mínima de 100 W y una carga máxima de 1000 W, para esto se utilizó un foco de 100 W y posteriormente los 10 focos de 100 W cada uno, del tablero de prueba.

## **2.7. Determinación del rendimiento del motor**

Se determinará el consumo de gasolina y de biogas del motor del grupo electrógeno con diferentes cargas. Se determinará el tiempo de funcionamiento del grupo electrógeno empezando con una presión de biogas en el sistema de producción, expresada en cm de agua. Con estos resultados se determinará el ahorro por no usar gasolina como combustible para el grupo electrógeno. El rendimiento se calculará con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Litros de combustible}}{\text{Watt} \times \text{minuto}}$$

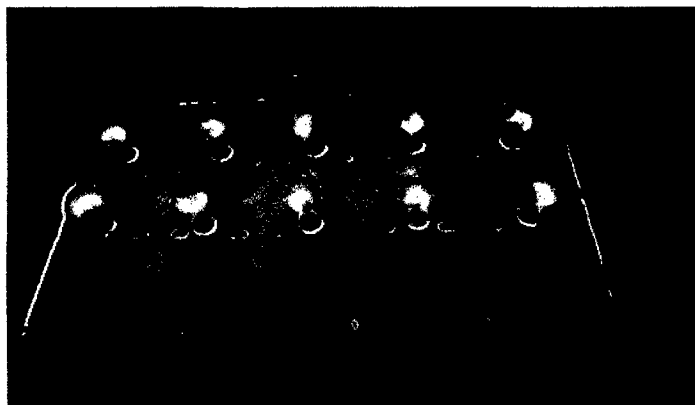
### III. RESULTADOS

#### 3.1. Biogas disponible

El biodigestor de la EE Pomacochas del INDES-CES es de 12 m<sup>3</sup>, de los cuales 9 m<sup>3</sup> corresponden a la mezcla estiércol:agua en la proporción 1:5 y quedan 3 m<sup>3</sup> para almacenar el biogas producido. En el gasómetro se puede almacenar 2 m<sup>3</sup> de biogas, con lo que se tendrá disponible un total de 5 m<sup>3</sup> de biogas. Este biodigestor se alimentó diariamente con 200 L de mezcla estiércol:agua (1:5) para mantener una producción diaria promedio de 2 m<sup>3</sup> de biogas a una presión de 4 cm de agua (Fotografía 7).

#### 3.2. Potencia generada por el grupo eléctrico con gasolina

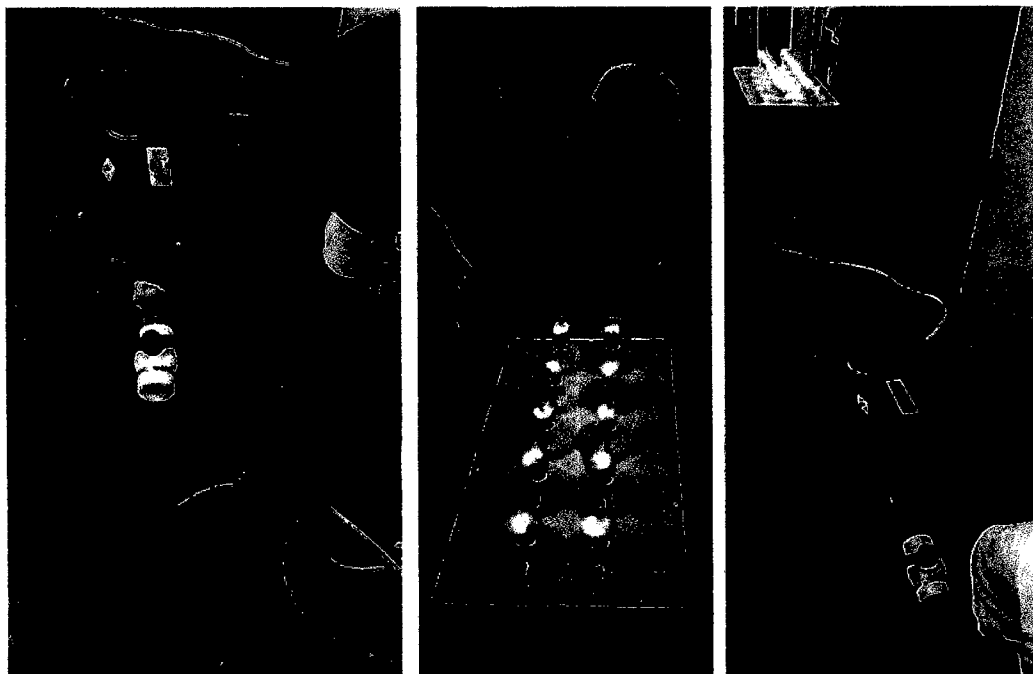
Se hizo funcionar el grupo eléctrico de 1000 W con 50 mL de gasolina abastecida desde el cilindro de una jeringa hipodérmica conectado al carburador (Fotografía 8), con lo que el grupo eléctrico funcionó durante 4 minutos con una carga constante de 1000 W (10 focos de 100 W cada uno), como se muestra en la Fotografía 10.



Fotografía 10. Tablero con 10 focos encendidos de 100 W cada uno.

### 3.3. Potencia generada por el grupo electrógeno con biogas

Se realizaron tres pruebas para lograr la adaptación final del grupo electrógeno de 1000 W a biogas. El encendido del motor siempre se hizo con gasolina y se continuó su funcionamiento con biogas. En la primera prueba se inyectó directamente el biogas con una manguera de  $\frac{1}{4}$ " , regulado con una llave de bronce, al filtro de aire del motor, al que se le colocó una llave de paso de  $1\frac{1}{2}$ " de PVC para regular el ingreso de aire para la combustión (Fotografía 11). Se aplicó una carga de 1000 W (10 focos de 100 W cada uno), pero el motor no llegaba a un funcionamiento estable a pesar de estar acelerado manualmente al máximo. Al alimentarse el biogas directamente al múltiple de admisión, el ajuste del motor por incremento de la carga se realiza manualmente con la llave de bronce que controla el paso de biogas.



Fotografía 11. Grupo electrógeno a biogas con una carga de 1000 W.

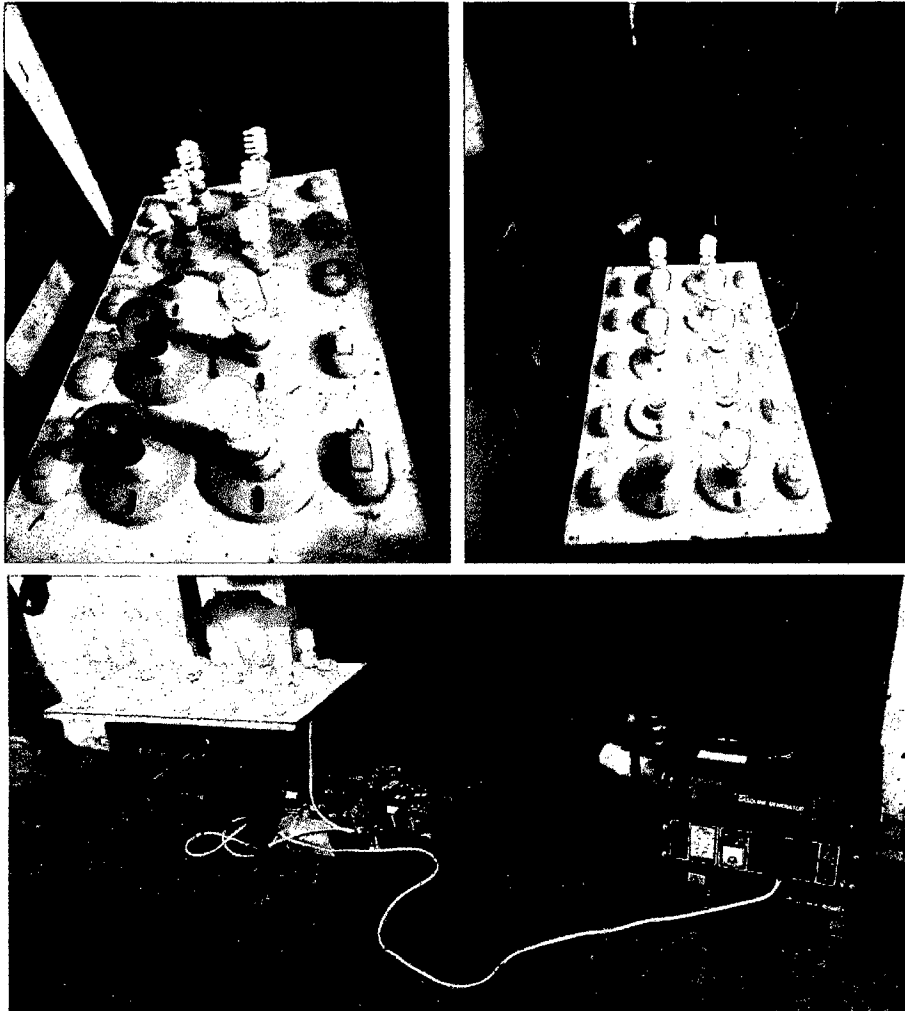
Para la segunda prueba se reemplazó el filtro de aire por un dispositivo en T hecho con accesorios de PVC de 1 ½" (Fotografía 12). Se fue encendiendo uno por uno los focos de 100W, llegando hasta tres de estos focos encendidos con funcionamiento estable del motor a biogas. Con esta prueba se verificó que el motor a biogas sólo puede generar 300 W de potencia, que corresponde al 30% de la potencia que genera con gasolina, el combustible para el que está diseñado.



Fotografía 12. Grupo electrógeno de 1 kW, generando 300 W a biogas.

Para la tercera prueba se mejoró el dispositivo de ingreso de biogas y de aire al carburador (Fotografía 8) y debido a los resultados previos, se decidió cambiar los focos de 100 W por focos ahorradores de 18 W cada uno. El motor tuvo un funcionamiento estable, haciendo funcionar siete focos ahorradores del tipo mencionado (126 W en total, representa el 12,6 % de su potencia nominal) (Fotografía

13); enseguida, 8 focos ahorradores y uno de 100 W (244 W en total, representa el 24,4 % de su potencia nominal).



Fotografía 13. Grupo electrógeno de 1 kW generando 244 W a biogas.

La secuencia de operación del motor a biogas debe ser la siguiente:

- a) Verificar la presión del biogas.
- b) Utilizar gasolina para el arranque y durante el calentamiento del motor, de 3 a 5 minutos, según las condiciones ambientales.



- c) Acelerar el motor antes de cambiar de gasolina a biogas. Es más fácil hacer este cambio con el motor acelerado, que a bajas revoluciones. Una vez hecho el cambio se podrá ajustar a las revoluciones requeridas.
- d) Cerrar el paso de gasolina al carburador. Esperar que se termine la gasolina del carburador y, en el momento en que el motor esté por detenerse, se abre lentamente la llave de paso del biogas al motor. Esto evitará que el motor succione demasiado biogas y se detenga por una mezcla (aire y biogas) demasiado rica.
- e) Regular el funcionamiento del motor con la apertura de la llave de paso de biogas, de acuerdo a sus necesidades.

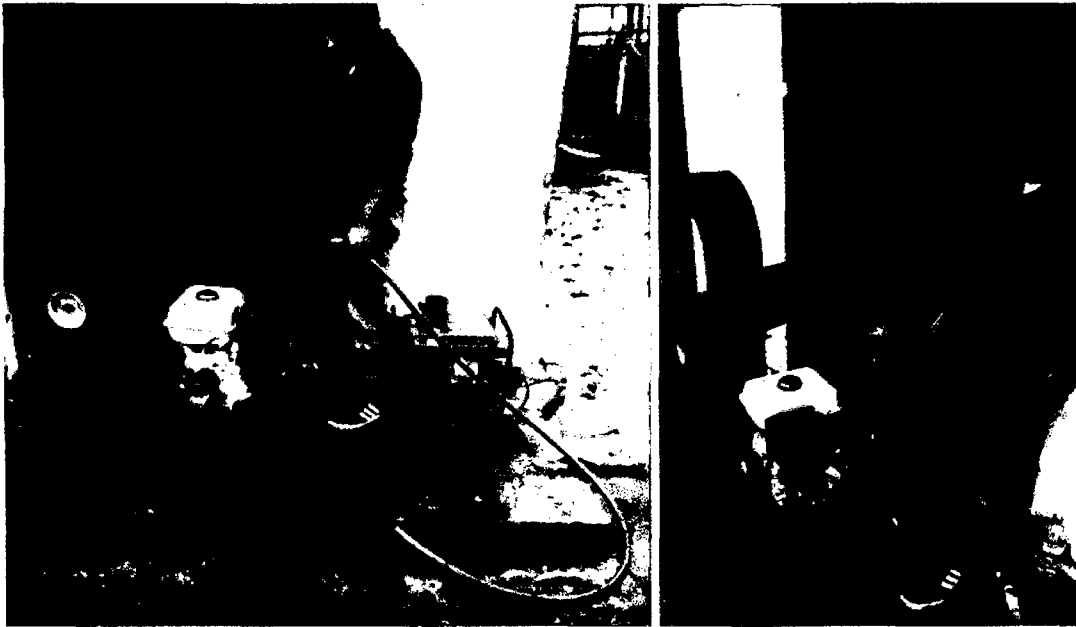
#### **3.4. Picadora de pasto a biogas**

Para adaptar el motor de 9 hp de la picadora de pasto de la EE Pomacochas, también se realizaron varias pruebas. En la primera prueba, se retiró el filtro de aire y por ese lugar se inyectó directamente el biogas al carburador con una manguera de ½", la que se fue doblando manualmente para regular el paso del biogas, lográndose un funcionamiento estable del motor (Fotografía 14).

Se diseñó el dispositivo en T como se muestra en la Fotografía 9 y 15, para hacer funcionar a biogas el motor de 9 hp de la picadora de pasto. Este motor tiene aceleración manual por lo que su funcionamiento fue más estable que el motor de 2,4 hp del grupo electrógeno que tiene un sistema automático de aceleración.



No se tuvo medios para medir la potencia generada por el motor de la picadora de pasto a biogas, pero se verificó que tenía un funcionamiento estable, incluso al proceder a picar pasto sin problemas de disminución de potencia para esta actividad (Fotografía 16).



Fotografía 14. Primera prueba de funcionamiento del motor de 9 hp a biogas.



Fotografía 15. Ambos lados de la picadora de pasto con motor de 9 hp a biogas.



Fotografía 16. Picadora de pasto a biogas en operación en la EE Pomacochas.

### 3.5. Determinación del rendimiento del motor con gasolina

El motor de 2,4 hp del grupo electrógeno de 1000 W, consume 50 mL de gasolina en 4 minutos con lo que genera energía eléctrica para el funcionamiento de 10 focos de 100 W cada uno, es decir 1000 W.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Litros de combustible}}{\text{Watt} \times \text{minuto}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0,05 \text{ Litros de gasolina}}{1000 \text{ Watt} \times 4 \text{ minuto}}$$

$$\text{Rendimiento} = 1,25 \times 10^{-5} \text{ L gasolina}/(\text{W} \cdot \text{min}) = 7,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ gasolina}/(\text{kWh})$$

### 3.6. Determinación del rendimiento del motor con biogas

Este mismo motor funcionando con biogas consume 2000 L en 30 minutos, para producir 244 W de energía eléctrica (8 focos ahorradores de 18 W y 1 foco de 100 W).

La presión inicial del biogas fue de 4 cm de agua y la presión final fue de 1 cm de agua.

$$\text{Rendimiento} = \frac{2000 \text{ Litros de biogas}}{244 \text{ Watt} \times 30 \text{ minuto}}$$

$$\text{Rendimiento} = 0,273 \text{ L biogas}/(\text{W} \cdot \text{min}) = 16,38 \text{ m}^3/(\text{kWh})$$

El rendimiento del motor con gasolina es  $16,38/7,5 \times 10^{-4} = 21840$  veces mayor que con biogas. Para mejorar el rendimiento se debe incrementar la presión de biogas, con lo que se dispondrá de mayor masa de biogas.

## DISCUSIÓN

Durante el desarrollo de la presente investigación se tuvieron en cuenta aspectos vinculados con el diseño, construcción y pruebas del sistema de alimentación del motor de un grupo electrógeno de 1000 W, incluyendo los mecanismos y accesorios de regulación en diferentes regímenes de operación del motor. Para el diseño del dispositivo de mezcla biogas-aire a la entrada del carburador se minimizó las pérdidas de presión para mantener la relación biogas-aire adecuada. Se implementó un sistema para un fácil arranque del motor y una alimentación confiable y segura de biogas, para hacer funcionar de manera adecuada el motor estacionario que originalmente funciona a gasolina. El éxito de esta adaptación es muy importante ya que con ello se vislumbra la posibilidad de electrificación de muchas comunidades rurales que no tengan acceso a la energía eléctrica.

Debido a que el biogas contiene aproximadamente 60% de metano, presenta ciertas desventajas de operación con respecto a la gasolina, la cual es un combustible con mejores características que el biogas. Esto se comprueba en el funcionamiento del motor. El motor al trabajar con biogas no soporta demasiada carga, tiende a operar con dificultades. La solución sería suministrarle mayor cantidad de biogas, pero esto no es posible debido a que existe un volumen constante de aire-combustible dentro del cilindro del motor, y al introducirle más biogas lo que se hace es alterar dentro de grandes rangos la relación de mezcla, como consecuencia el motor se apaga. La cantidad de biogas necesaria para que el motor trabaje normalmente y a una determinada carga, es solicitada automáticamente por la depresión creada en la succión, ya que el motor dispone de un control de velocidad constante. Se recomienda que en lo posible el motor trabaje a una carga constante para que no se presenten estos inconvenientes.

En los motores de ciclo Otto, el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son encendidos con gasolina y luego siguen funcionando con un 100% de biogas, con una merma de potencia máxima del 20% al 30% (Escobedo, 2011). La adaptación es sencilla (Fotografía 8), una vez efectuada, el motor podrá utilizar biogas o gasolina cuando el biogas falte por alguna razón.

El biogas como combustible alternativo en motores de combustión interna encendidos por chispa, únicamente puede ser aprovechado para el funcionamiento de los motores de cuatro tiempos, como se ha demostrado en la presente investigación, ya que los motores de dos tiempos no se pueden adaptar a biogas; en estos, el combustible debe ir mezclado con el aceite que lubrica las partes móviles del motor (Escobedo, 2011).

No se requiere alta presión para introducir al cilindro el biogas mezclado con el aire, ya que la succión del motor (carrera de admisión), permite la entrada de la mezcla de gases. Sin embargo, es necesario que la presión del biogas se conserve constante.

Los motores a gasolina son de combustión interna y por tener una baja relación de compresión, no se puede aprovechar todo el potencial calorífico del biogas. Se lograría si al motor se le incrementara su relación de compresión, pero se necesita realizar modificaciones especializadas y también daría problemas cuando por alguna razón faltara el biogas, pues el motor ya modificado sólo funcionaría con biogas y no con gasolina (Escobedo, 2011).

En el motor de 2,4 hp del grupo electrógeno de 1000 W adaptado a biogas utilizado en las pruebas de la presente investigación, se pudo observar que la potencia se reduce a 244 W, lo que corresponde al 24,4 % de la potencia de 1000 W cuando funciona con gasolina. Por

lo que la adaptación de motores de combustión interna de cuatro tiempos, de gasolina a biogas, tiene el inconveniente que la potencia útil del motor se reduce. Sin embargo, por ser el biogas un combustible barato y de fácil producción contribuye a reducir el uso de combustibles derivados del petróleo.

El metano es un gas de efecto invernadero que está contribuyendo al calentamiento global (cambio climático), debido a que una molécula de metano en la atmósfera absorbe tanto calor como 24 moléculas de dióxido de carbono. Como el biogas, que contiene en promedio 60% de metano, es una fuente de energía renovable y su empleo en motores de combustión interna de grupos electrógenos reduce casi cuatro veces la potencia que generan con gasolina, es mejor emplear focos ahorradores de 18 W que iluminan como un foco de filamento de 80W. De esta manera, se hace doble contribución al cuidado del medio ambiente; en la primera, se combustiona el metano del biogas en el cilindro del motor, con lo que una molécula de metano ( $\text{CH}_4$ ) se convierte en una molécula de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); en la segunda, los focos ahorradores disipan menos calor al ambiente que los focos de filamento.

El rendimiento del motor de 2,4 hp del grupo electrógeno con gasolina es  $16,38/7,5 \times 10^{-4} = 21840$  veces mayor que con biogas. Para mejorar el rendimiento se debe incrementar la presión de biogas, con lo que se dispondrá de mayor masa de biogas. Para mantener estable la operación del motor se debe mantener constante la presión de biogas. Con este grupo electrógeno a biogas, se ahorra 750 mL de gasolina por hora de funcionamiento, siendo su motor de  $87 \text{ cm}^3$ . Según Carmona *et al.* (2007), un motor de 5 hp de  $144 \text{ cm}^3$ , por cada hora de funcionamiento a biogas ahorra 2213,59 mL de gasolina. Al establecer la comparación, resulta que la relación de volúmenes de cilindrada es de  $144/87 = 1,66$ ; sin embargo, la

relación de volumen de gasolina gastado es  $2213,59/750 = 2,95$ . En consecuencia, el gasto de gasolina del motor de 5 hp es 2,95 veces más, lo que concuerda por ser el doble de potencia que el motor de 2,4 hp.

En la presente investigación, la potencia del motor de 2,4 hp se redujo a 24,4%; a diferencia de lo que ocurre con un motor de 2,3 veces más potencia (8 hp), cuya potencia con biogas fue de 71,2% de su potencia con gasolina (IMCI, 2012).

Un motor de 5 hp a biogas tiene un rendimiento de  $0,55 \text{ m}^3/(\text{kWh})$  (Carmona *et al.*, 2007); mientras que para un motor de 8 hp, su rendimiento es de 0,65 a  $0,70 \text{ m}^3/(\text{kWh})$  (IMCI, 2012). Para ambos casos no hay un reporte de la presión del biogas empleado. Sin embargo, Hernández (1996), reportó que con biogas a una presión entre 45 a 155 cm de agua, el rendimiento de un motor de 20 kW generando 18 kW de energía eléctrica fue de  $0,261 \text{ m}^3/(\text{kWh})$ . Para la presente investigación, se empleó biogas a una presión entre 1 a 4 cm de agua y el rendimiento del motor de 2,4 hp fue de  $16,38 \text{ m}^3/(\text{kWh})$ , empleando la relación  $P_1V_1 = P_2V_2$  ( a temperatura constante):  $(155 \text{ cm})(0,261 \text{ m}^3/(\text{kWh})) = (4 \text{ cm})V_2$ ;  $V_2 = 10,11 \text{ m}^3/(\text{kWh})$ ; se aprecia que el rendimiento es 38% menor, por lo que se refuerza la conclusión que los motores a biogas funcionarán mejor cuando se alimenten con biogas a mayor presión, la que además se debe mantener constante.

En el presente investigación se ha comprobado que el motor 9 hp de la picadora de pasto, ha tenido mejor desempeño a biogas que el motor del grupo electrógeno empleado que es 3,75 veces más pequeño; por lo que se puede afirmar que mientras más grande sea el motor, mejor será su funcionamiento a biogas.



#### IV. CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado que es factible la adaptación de un motor a gasolina, al uso de biogas.
2. Se ha mantenido la integridad del motor, en cuanto a la no alteración de sus mecanismos, tal como hubiese sido el caso de la adaptación de un carburador especial para biogas. Se ha empleado un carburador normal para gasolina, y sin alteración alguna ha funcionado con biogas.
3. A mayor presión de biogas, funcionamiento más estable del motor, siempre y cuando se mantenga constante la presión de abastecimiento de biogas.
4. El empleo de focos ahorradores permite compensar la disminución de la potencia del grupo electrógeno a biogas.
5. Mientras más grande sea el motor, mejor será su funcionamiento a biogas.

## **V. RECOMENDACIONES**

1. Dar arranque al motor con gasolina hasta que caliente, después pasar a alimentación con biogas, abriendo lentamente la válvula de la tubería de biogas y al mismo tiempo cerrando el paso de la gasolina.
2. Mantener constante la presión del biogas alimentado al motor.
3. Mantener el motor con la misma carga siempre que sea posible, para evitar regulaciones frecuentes de la válvula de entrada del biogas, lo que interfiere con el funcionamiento del motor y baja su rendimiento.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrena Gurbillón, Miguel A., Luis A. Taramona Ruiz, Oscar A. Gamarra Torres y Maximiliano Choy Wong. 2013. Biodigestores tubulares para la producción de biogas. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú 2013-07776. GRAFICA DAVISIA E.I.R.L. Lima, Perú.

Carmona Favio, Julio Orozco, Raúl Botero y Carlos Hernández. 2007. Utilización de biogas para operar motores a gasolina y diésel. Universidad EARTH, Costa Rica. [www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/utilizacion-biogas-operar-motores-t1212/p0.htm](http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/utilizacion-biogas-operar-motores-t1212/p0.htm). Accesado el 15 de junio de 2012.

Çengel, Y.A. y Boles, M.A. 2003. **Termodinámica**. McGraw-Hill Interamericana. 4ta. Edición. México.

Costas, Javier. 2012. [www.motorpasion.com/.../volkswagen-new-beetle-movido-por-biogas](http://www.motorpasion.com/.../volkswagen-new-beetle-movido-por-biogas) - Accesado el 15 de junio de 2012.

Escobedo de León, José R. 2011. Biogas como combustible alternativo para una estufa y un motor de un cilindro ciclo Otto. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Hernández A., L.A. 1996. Tecnologías para el aprovechamiento del gas producido por la digestión anaeróbica de la materia orgánica. *Agronomía Colombiana*, Volumen XIII, No.1; pág 76-90.

Instituto de Motores de Combustión Interna (IMCI) de la Universidad Nacional de

Ingeniería, Lima, Perú. Uso del Biogas en Motores de Combustión Interna.

[www.motores.uni.edu.pe/pry\\_01.html](http://www.motores.uni.edu.pe/pry_01.html). Accesado el 15 de junio de 2012.

Werner U, U Stöhr U, N Hees. 1989. Biogas plants in animal husbandry. GATE – GTZ.

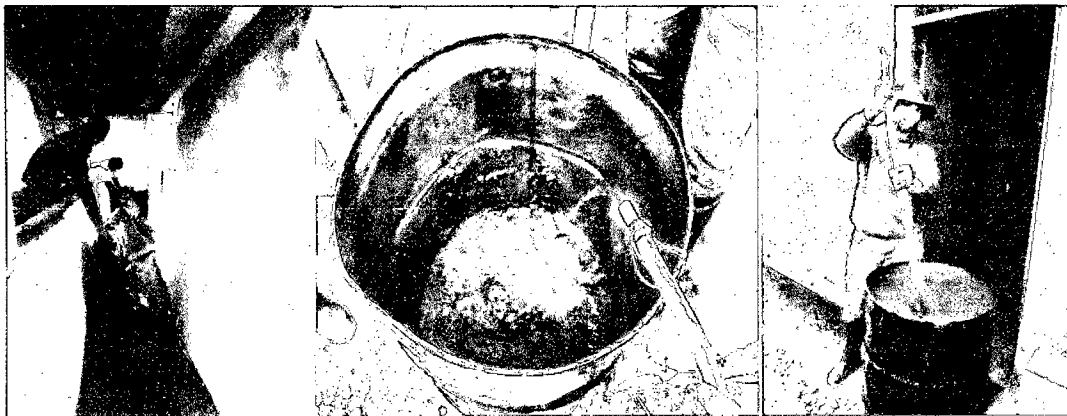
Lengericher. Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania.

## ANEXO 1

### Operación del biodigestor para producir biogas y bioabonos



Fotografía 17. Pozas de carga y descarga del biodigestor de la EE Pomacochas.



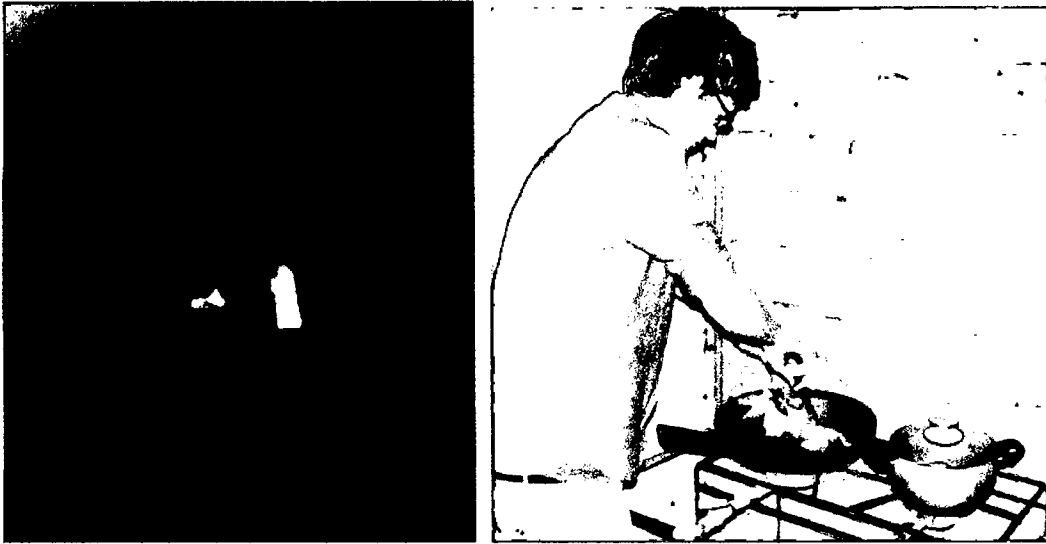
Fotografía 18. Instalación del biodigestor y preparación de la alimentación.



Fotografía 19. Carga del biodigestor con mezcla estiércol:agua (1:5).



Fotografía 20. Biodigestor a 8 cm de agua de presión.



Fotografía 21. Cocina a biogas para preparar los alimentos.



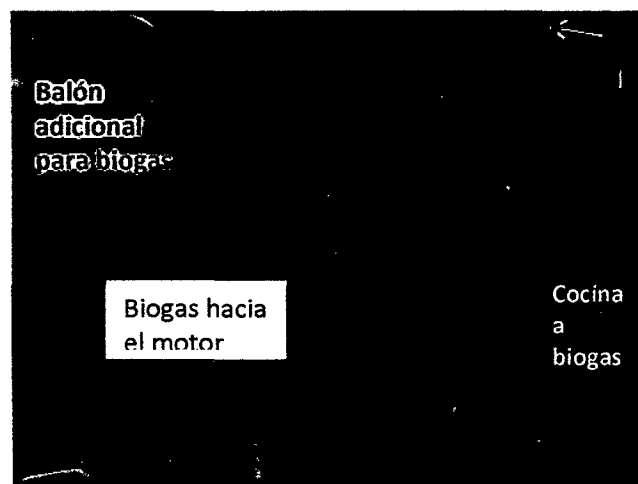
Fotografía 22. Extracción de biol y biosol para fertilizar los pastos.

## ANEXO 2

### Conducción del biogas para los motores

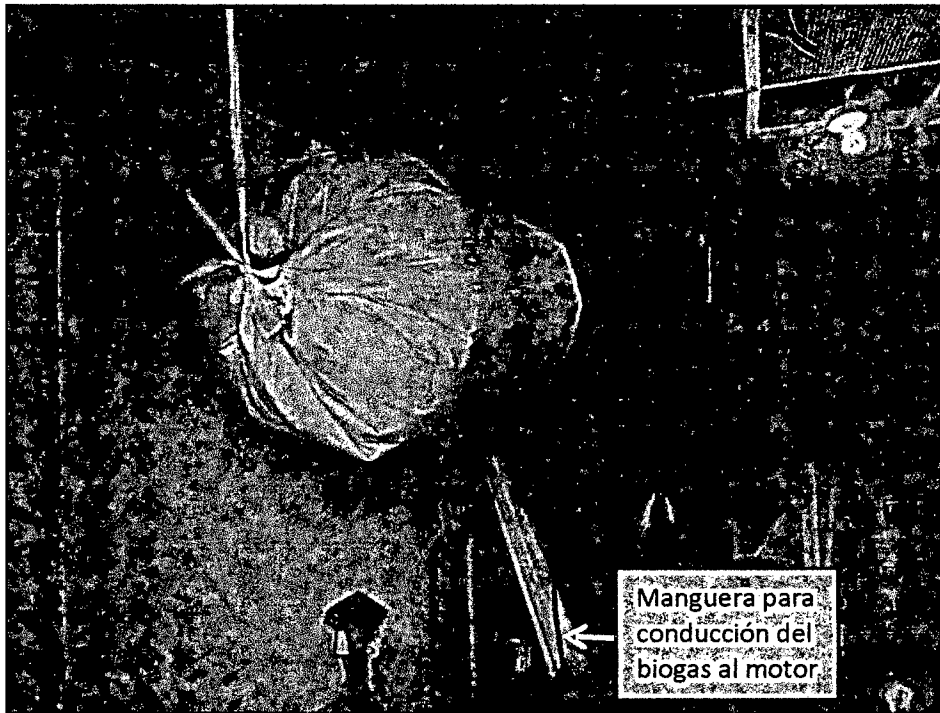


Fotografía 23. Pesos sobre el biodigestor para mantener constante la presión.

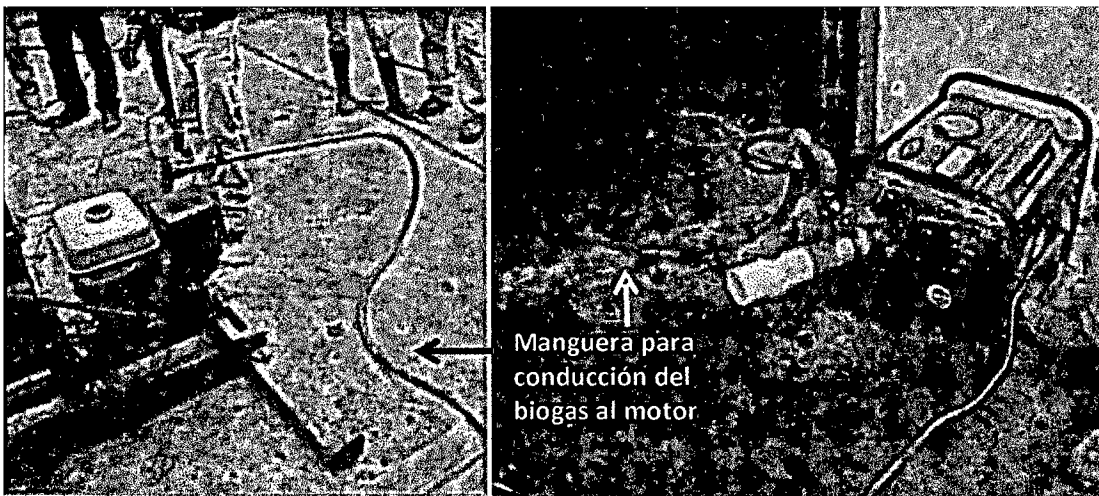


Fotografía 24. Tubería de biogas para la cocina y el balón adicional.





Fotografía 25. Balón adicional de polietileno para abastecer con biogas al motor.



Fotografía 26. Manguera para conducción de biogas a los motores.

### ANEXO 3

#### Difusión de la tecnología de motores adaptados a biogas para la comunidad



Fotografía 27. Demostración del funcionamiento de la picadora de pasto a biogas a ganaderos de Ayabaca que visitaron la EE Pomacochas.



Fotografía 28. Demostración del funcionamiento del grupo electrógeno a biogas a estudiantes del colegio de Pomacochas.